

Oponentský posudek dizertační práce Petra Opletala „Specifika magnetismu na hranici feromagnetického uspořádání“

Petr Opletal se ve své dizertační práci zabývá výzkumem fyzikálních vlastností sloučenin skupiny UTX s hexagonální krystalovou strukturou a jejich závislostmi na aplikovaném vnějším tlaku. Konkrétně byly studovány materiály $UCoGa$, $URhGa$ a $UCo_{0.990}Rh_{0.010}Al$. Tyto sloučeniny vykazují velice komplexní chování. To je způsobeno silným svázáním strukturních a magnetických vlastností díky silné spin-orbitální vazbě a f-f interakci. Studium jejich fázových transformací a konstrukce fázových diagramů je proto nemírně důležité z hlediska pochopení základních fyzikálních procesů v magnetických materiálech.

Předložená práce má 104 stran a obsahuje šest číslovaných kapitol. Témata jednotlivých na sebe navzájem logicky navazují a celá práce působí uceleným dojmem. Práce začíná stručným a přehledným úvodem do problematiky fázových přechodů a jejich pozorování v uranových sloučeninách. Jsou zde též vymezeny cíle dizertační práce. První kapitola je věnována vysvětlení potřebné teorie k diskuzi dosažených výsledků. Text kapitoly je vyvážený a neobsahuje nadbytečné množství rovnic, které by čtenáře zbytečně mátly.

Druhá kapitola je věnována popisu experimentálních metod použitých k dosažení prezentovaných výsledků. Jsou zde popsány jak metody přípravy krystalů zkoumaných sloučenin, tak i jednotlivé měřicí techniky. Ty zahrnují strukturní charakterizaci pomocí rentgenových technik, nízkoteplotní měření transportních a magnetických vlastností i měření v aplikovaných hydrostatických tlacích.

Třetí kapitola je věnována představení kvantových feromagnetů a jejich fázovým diagramům. V této kapitole je popsáno základní chování těchto látek v kontextu jejich fázových přechodů a magnetického stavu. Jsou zde též představeny modelové sloučeniny a jejich základní fyzikální vlastnosti.

Ve čtvrté kapitole student stručně a přehledně uvede skupinu hexagonálních UXT sloučenin včetně nejnovějších poznatků o jejich fyzikálních vlastnostech uvedených v literatuře. Velmi chválím mnoho odkazů na odbornou literaturu, které dokazují značnou sečtělost studenta. Na první čtyři kapitoly se pak autor odkazuje napříč zbytkem práce.

Pátá a šestá kapitola pak již shrnují studentova vlastní experimentální pozorování a jejich diskuzi. Jako první jsou diskutovány výsledky získané na sloučenině $UCoGa$. Zkoumané vzorky ve formě monokrystalu byly vyrobeny pomocí Czochralského metody. S pomocí magnetických a transportních měření byl ukázán vliv žíhání krystalů na kvalitu jednotlivých vzorků. Magnetické i transportní vlastnosti jsou negativně ovlivněny množstvím defektů, které žíhání potlačuje. Experimenty mikroskopie magnetických sil při nízkých teplotách poukázaly na silnou magnetokrystalickou anizotropii a dovolily pozorovat magnetické domény s 180stupňovou stěnou. Tlakové experimenty pak dovolily sestavit fázový diagram zkoumaného materiálu.

Magnetické a transportní vlastnosti sloučeniny $UCo_{0.990}Rh_{0.010}Al$ byla zkoumána v závislosti na aplikovaném tlaku. Bylo pozorováno snížení teploty feromagnetického přechodu a dosažení trikritického bodu. Tlaková měření dovolily sestavit fázový diagram zkoumaného materiálu. Jeho vlastnosti pak byly podrobně diskutovány a konfrontovány s teorií i výsledky na jiných typech sloučenin.

Konečně sloučenina $URhGa$ byla též zkoumána portfoliem transportních i magnetických měření při různém aplikovaném hydrostatickém tlaku. Experimenty odhalily zajímavé odchylky v předpokládaném chování transportních vlastností.

Detailní a systematickou analýzou experimentálních výsledků byly též získány kritické exponenty pro sloučeniny $UCoGa$ a $URhGa$. Srovnáním získaných dat s teoretickými predikcemi bylo usouzeno, že zkoumané materiály jsou systémy popsatelné 2D Isingovým modelem. Osobně toto považuji za nejzajímavější výsledek práce.

Z práce vyplývá, že se student aktivně podílel na všech experimentálních pracích od růstu krystalů až po tlaková měření. Celkový rozsah provedených měření pomocí širokého spektra experimentálních metod je značný a výsledky jsou prokazatelně originální. To ukazuje i fakt, že řada výsledků již byla publikována. Dizertační práce je psána v anglickém jazyce s pouze malým množstvím překlepů a gramatických chyb. Počet referencí je nadstandartní.

K práci mám jen drobnou výtku: ne všechny grafy v práci jsou chronologicky řazené tak, jak je na ně odkazováno v textu. Občas to znesnadňuje orientaci čtenáře v textu, když se musí vracet napříč stránkami.

Výborná úroveň práce, kterou demonstrují publikace v impaktovaných vědeckých časopisech, společně s velkým souborem originálních výsledků prokazují značnou erudici autora a jeho předpoklady k samostatné vědecké práci. Dizertační práci proto doporučuji k obhajobě.

Případné otázky do diskuze:

- 1) V kapitole 5.1.1. je diskutován rozdíl ve vlastnostech vzorku SC2C a SC2A pomocí většího množství defektů v SC2C díky jeho jiné poloze ve vytaženém krystalu. Je zmíněno, že EDX analýza neprokázala změnu složení v laterálním směru. Nemohou být odlišné magnetické vlastnosti způsobeny hloubkovou změnou kompozice ve vzorku? EDX je povrchová metoda a magnetická měření nesou informaci z celého objemu.
- 2) Měření mikroskopie magnetických sil odhalila zvláštní magnetické útvary, jež jsou patrné i při aplikaci pole 14T. Nemůže se jednat o tzv. „antiphase boundaries“? Ta často mívají antiiferomagnetické uspořádání a jsou pozorovatelná i ve vysokých magnetických polích.
- 3) V grafu 5.11b je vidět pokles maxima křivek v teplotě při aplikaci tlaku do 6.4 GPa. Pak maximum opět v teplotě stoupá. V grafu 5.13a pak po přechodu okolo 6 GPa dochází ke značnému poklesu parametru A. Je toto chování očekávané a ví student co ho způsobuje?
- 4) V grafu 5.29b jsou pro měření 0.01T znatelné dvě závislosti (křivky). Bylo měření provedeno při cyklování teploty nahoru a dolů? Jedná se o hysterezi vzorku?

V Praze 27. listopadu 2019

RNDr. Martin Veis, Ph.D.
Fyzikální ústav Univerzity Karlovy